

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-253499

(43)Date of publication of application : 25.09.1998

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

(21)Application number : 09-055865

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 11.03.1997

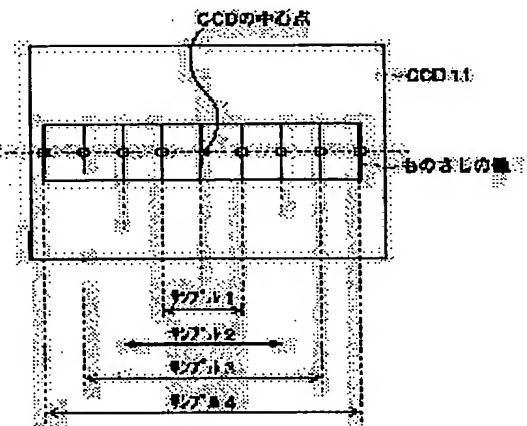
(72)Inventor : OKI MITSU HARU
NAKAMURA KYOKO

(54) CALIBRATION DEVICE AND CALIBRATION METHOD, AND DISTORTION CORRECTING DEVICE AND METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily calculate distortion aberration parameters related to distortion aberrations.

SOLUTION: A video camera and a ruler are installed in such a manner that the scale is entirely and horizontally projected on the CCD 11 of the video camera and that the optical axis of the lens of the video camera is perpendicular to the ruler. Further, the center point (dividing the ruler into two right and left parts) of the ruler is made to almost coincide with the center point of the CCD 11 of the video camera. The distance (m) between the images of two right and left points which are at equal distances from the center point of the ruler is calculated, and a distortion aberration parameter (k) is calculated such that the equation $(m)=h \times L+k \times h^3 \times L^3$ is satisfied, wherein L is the distance between the two points on the ruler, (k) is the distortion aberration parameter, and (h) is a predetermined constant.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10-253499

(43) 公開日 平成10年(1998)9月25日

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I

G 0 1 M 11/02

G 0 1 M 11/02

B

審査請求 未請求 請求項の数 7

OL

(全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平9-55865

(22) 出願日 平成9年(1997)3月11日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 大木 光晴

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 中村 恭子

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

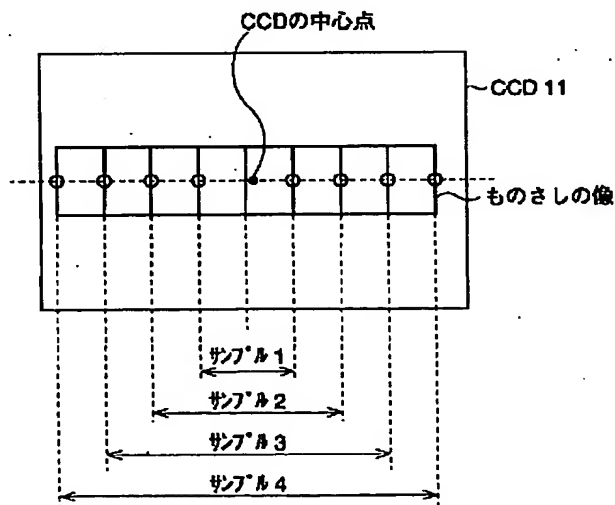
(74) 代理人 弁理士 稲本 義雄

(54) 【発明の名称】 キャリブレーション装置およびキャリブレーション方法、並びに歪み補正装置および歪み補正方法

(57) 【要約】

【課題】 歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを、容易に求めることができるようにする。

【解決手段】 ビデオカメラのCCD 11に、ものさしが全体的に、かつ水平に映り、ビデオカメラのレンズの光軸がものさしに対して垂直になるように、ビデオカメラとものさしとを設置する。さらに、ものさしの中心点（左右を2分する点）が、ビデオカメラのCCD 11の中心点にほぼ一致するようにする。そして、ものさしの中心点から左右に等距離にある2つの点の像どうしの距離 m を求め、その2つの点のものさし上での距離を L と、歪曲収差パラメータを k と、所定の定数を h と、それぞれすると、式 $m = h \times L + k \times h^3 \times L^3$ を満たすような歪曲収差パラメータ k を求める。



CCDに映ったものさし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する 2 次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを求めるキャリブレーション装置であって、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある 2 つの点を検出する検出手段と、前記検出手段により検出された 2 つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、前記歪曲収差パラメータを求める演算手段とを備えることを特徴とするキャリブレーション装置。

【請求項 2】 前記検出手段は、前記光電変換手段の受光面の中心点に対応する前記物体上の点に対して点対称な位置にある、前記物体の像における 2 つの点を検出することを特徴とする請求項 1 に記載のキャリブレーション装置。

【請求項 3】 前記検出手段は、前記物体の像が左右に最も長くなるように撮像がなされている場合における前記 2 つの点を検出することを特徴とする請求項 1 に記載のキャリブレーション装置。

【請求項 4】 前記検出手段により検出された 2 つの点の間の距離を m と、その 2 つの点の前記物体上での距離を L と、前記歪曲収差パラメータを k と、所定の定数を h と、それぞれするとき、前記演算手段は、式 $m = h \times L + k \times h^3 \times L^3$ を満たすような前記歪曲収差パラメータ k を求めることを特徴とする請求項 1 に記載のキャリブレーション装置。

【請求項 5】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する 2 次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを求めるキャリブレーション方法であって、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある 2 つの点を検出し、その 2 つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、前記歪曲収差パラメータを求めることを特徴とするキャリブレーション方法。

【請求項 6】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する 2 次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差による前記 2 次元画像の歪みを補正する歪み補正装置であって、前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、前記 2 次元画像の歪みを補正する補正手段を備え、

前記歪曲収差パラメータは、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある 2 つの点を検出し、その 2 つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められたものであることを特徴とする歪み補正装置。

【請求項 7】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する 2 次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差による前記 2 次元画像の歪みを補正する歪み補正方法であって、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある 2 つの点を検出し、その 2 つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、前記 2 次元画像の歪みを補正することを特徴とする歪み補正方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、キャリブレーション装置およびキャリブレーション方法、並びに歪み補正装置および歪み補正方法に関し、特に、例えば、CCD (Charge Coupled Device) カメラにおけるレンズの歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを、容易に求めることができるようにするキャリブレーション装置およびキャリブレーション方法、並びに歪み補正装置および歪み補正方法に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、ビデオカメラにおいては、3次元の世界が、レンズを通じて CCD 上に結像されることにより、2次元の画像に投影される。この場合、レンズが、収差のない、いわゆる理想レンズであれば、CCD 上に投影される像の形状は、3次元空間にある物体の形状を透視投影変換したものに完全に一致する。しかしながら、実際に使用されるレンズは収差を有するため、CCD 上に形成される像は歪んだものとなる。従って、ビデオカメラにおける物体の撮影は、その物体を透視投影変換して 2次元画像にする処理と、その 2次元画像をレンズの収差にしたがって歪める処理との組合せと把握することができる。

【0003】ここで、図 13 は、ビデオカメラにおける結像過程をモデル化した結像モデルを示している。

【0004】上述したように、ビデオカメラにおける物体の撮影は、その物体を透視投影変換して 2次元画像にする処理と、その 2次元画像をレンズの収差にしたがって歪める処理との組合せと考えられるから、結像モデルは、図 13 に示すように、透視投影変換と、レンズ収差による歪みとで表現することができる。即ち、この結像

モデルによれば、まず、3次元空間にある、撮像の対象となっている対象物体が透視投影変換により2次元画像に投影される。そして、その2次元画像が歪められ、ビデオカメラが出力する画像と同様の投影像が得られる。

【0005】このように、結像の仕組みをモデル化して定式化すると、投影された2次元画像から、対象物体の、3次元空間における形状に関するデータ（例えば、3次元空間内に想定した座標系における、対象物体の座標など）（以下、適宜、3次元形状データという）を得ることができる。

【0006】即ち、結像モデルは、「透視投影変換」と「レンズ収差による歪み」とで表現されるから、図14に示すように、まず、投影された2次元画像について、その歪みを、レンズの収差に関するレンズ収差パラメータにしたがって補正することで、透視投影変換後の理想的な2次元画像（歪みのない2次元画像）を得ることができる。そして、その理想的な2次元画像を、レンズの焦点距離や、撮影時のビデオカメラの位置／傾きなどに基づいて逆透視投影変換することにより、射影幾何学の法則に基づき、対象物体の3次元形状データを得ることが

【0007】従って、撮像された2次元画像から、対象物体の3次元形状データを得るには、レンズ収差パラメータや、レンズの焦点距離、ビデオカメラの位置／傾きなどの、いわゆるカメラパラメータが必要となる。

【0008】ここで、カメラパラメータには、大きく分けて、ビデオカメラの位置や姿勢に関するものと、その光学系に関するものがある。ビデオカメラの位置や姿勢に関するものとしては、例えば、上述したビデオカメラの位置／傾きなどがあり、光学系に関するものとしては、例えば、上述した焦点距離やレンズ収差パラメータの他、CCDの受光面上の画素の大きさや、その中心点の位置などがある。

【0009】レンズ収差パラメータは、上述したように、ビデオカメラから得られた投影像（歪みを有する2次元画像）を、元の3次元空間における対象物体に復元する場合において、その投影像の歪みを補正して、理想的な2次元画像にするとときに用いられる。そして、このレンズ収差パラメータは、ビデオカメラ固有のものであり、その位置や傾きとは無関係であるから、一度正確に計測しておけば、その後は、その他のカメラパラメータであるビデオカメラの位置や傾き、焦点距離などを計測するだけで、3次元形状データを得ることができる。

【0010】ところで、レンズの収差は、そのレンズにより形成される像を歪める原因となるものであり、レンズの不完全さや、取り付け位置の誤差などに起因して、幾つかの種類がある。そして、これらのレンズの収差は、定式化されており、従って、各収差については、パラメータ値を求めることができ、パラメータ値が求まれば、その収差による像の歪みを求め、また、その歪みの

補正をすることができる。

【0011】なお、収差の定式化については、例えば、Weng, Juyang, Paul Cohen, Marc Herniou, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. Vol.14, No.10, 1992（以下、文献1という）などに、その詳細が記載されている。

【0012】レンズ収差の中で主なものとしては、レンズの歪曲収差（radial distortion）と、CCDの受光面における光軸のずれによる収差とがある。その他の収差は、これらの2つの収差に比較して非常に小さいので無視しても大きな問題はなく、従って、レンズ収差パラメータとしては、レンズの歪曲収差と光軸のずれによる収差とに関するものを求めれば充分ということになる。

【0013】レンズの歪曲収差は、レンズ収差の中で最も大きい収差で、これは、レンズの歪みにより生じ、一般に、焦点距離が短い、即ち、広角なほど大きい。そして、歪曲収差は、光軸からの放射方向に等方的であり、光軸から放射方向への距離を r とすると、理想レンズによる像と、実際のレンズ（歪曲収差を有するレンズ）による像とのずれ r_d は、次式で近似される。

【0014】

【数1】

$$rd = k_3 \times r^3 + k_5 \times r^5 + k_7 \times r^7 + \dots$$

・・・(1)

ここで、 k_3 、 k_5 、 k_7 、・・・は、歪曲収差に関するパラメータ（歪曲収差パラメータ）である。

【0015】式(1)において、5次以上の高次の項は非常に小さく、一般に、無視しても問題ないことが知られている。そこで、ここでは、歪曲収差パラメータ $k = k_3$ とし、像のずれ r_d が次式で表されるものとして扱う。

【0016】

【数2】

$$rd \approx k \times r^3$$

・・・(2)

【0017】式(2)において、 $k < 0$ または $k > 0$ の場合、像は、図15(A)または図15(B)にそれぞれ示すように、たる型または糸巻き型に歪んだものとなる。

【0018】一方、CCDの受光面における光軸のずれによる収差は、光軸、即ち、結像における光学系の中心（光学中心（optical center））を通り、レンズ面（主平面）と垂直方向の軸が、撮像面の中心、即ち、CCDの受光面の中心点（重心）を通らないことにより生じる。つまり、理想レンズでは、光軸が撮像面の中心を通るが、実際には、光軸が撮像面の中心を正確に通るように、レンズおよびCCDがマウントされるとは限らない。そして、この光軸と撮像面の中心とのずれに起因して、実際に形成される像が、理論的に形成されるべき位

置からずれる。

【0019】即ち、図16は、理想レンズによる結像の様子と、光軸のずれによる収差を有する、実際のレンズによる結像の様子とを示している。

【0020】理想レンズでは、その光軸Xが、CCDの中心を通り、対象物体（同図において●印で示す部分）の像が、理想レンズの光学中心と対象物体との間を結ぶ直線と、CCDの受光面との交点P（同図において点線の○印で示す部分）に形成されている。これに対して、実際のレンズにおいて、その光軸X'がCCDの中心からずれている場合には、実際のレンズの光学中心は、理想レンズの光学中心からずれるため、実際のレンズの光学中心と対象物体との間を結ぶ直線と、CCDの受光面との交点P'（同図において実線の○印で示す部分）、即ち、CCD上において、対象物体の像が形成される位置も、点Pからずれる。

【0021】上述したように、レンズ収差の中では、以上の歪曲収差と光軸のずれによる収差とが大きなものであり、従って、2次元画像の歪み補正のためには、これらの2つの収差に関するレンズ収差パラメータを計測することが必要になる。

【0022】レンズ収差パラメータの他、各種のカメラパラメータを求める（決定する）技術は、カメラキャリブレーション（camera calibration）と呼ばれ、コンピュータビジョンの分野において古くから研究されている。カメラキャリブレーションには、簡単かつ高速で、しかも高精度の解を得るための計算方法と、その計算を有利に進めるための対象物体やビデオカメラの配置、その他の環境設定が必要であり、従来より、種々の手法が提案されている。

【0023】カメラキャリブレーションの一手法としては、例えば、3次元空間における位置の分かっている対象物体を撮像し、その結果得られる2次元画像上の位置と、その位置に対応する3次元空間上の位置との対応関係を、結像モデルに当てはめることにより、カメラパラメータを求めるものがある。即ち、この場合、カメラパラメータは、例えば、3次元空間における対象物体を、結像モデルにしたがって2次元画像に変換し、その2次元画像と、実際に撮像された2次元画像とを比較し、両者の差異がなくなるように決定される。

【0024】図17は、上述のようなカメラキャリブレーションを行う、従来のキャリブレーションシステムの一例の構成を示している。

【0025】このキャリブレーションシステムでは、カメラパラメータのうちのレンズ収差パラメータが求められるようになっている。

【0026】即ち、ビデオカメラ1は、キャリブレーションの対象となっているビデオカメラで、所定の対象物体を撮像し、その結果得られる2次元画像を比較部34に出力する。

【0027】一方、ビデオカメラ1によって撮像されている対象物体の、3次元空間における位置や形状などの3次元形状データ、さらには、対象物体を撮像したときのビデオカメラ1の位置や傾きなどが正確に計測され、焦点距離などの透視投影変換に必要な情報とともに、入力部31に入力される。入力部31に入力された情報は、透視投影変換部32に供給され、そこでは、3次元形状データに対して、ビデオカメラ1の位置や傾き、焦点距離などを考慮して透視投影変換処理が施されることにより、対象物体を透視投影変換した歪みのない2次元画像が求められる。この2次元画像は、歪み部33に供給される。

【0028】歪み部33には、さらに、パラメータ設定部35からレンズ収差パラメータが供給されるようになっている。歪み部33は、パラメータ設定部35からのレンズ収差パラメータにしたがって、透視投影変換部32からの2次元画像を歪ませ、その結果得られる2次元画像（以下、適宜、歪み画像という）を、比較部34に出力する。比較部34では、ビデオカメラ1からの2次元画像と、歪み部33からの歪み画像とが比較され、その比較結果、即ち、ビデオカメラ1からの2次元画像に対する、歪み部33からの歪み画像の誤差が出力される。計測者は、その誤差に対応して、パラメータ設定部35を操作し、レンズ収差パラメータを変更する。そして、歪み画像の誤差が所定の閾値以下となるまで、パラメータ設定部35の操作を繰り返し、所定の閾値以下となったときにおけるレンズ収差パラメータが、ビデオカメラ1固有のものとして出力される。

【0029】以上のようなキャリブレーションシステムでは、入力部31に入力される、ビデオカメラ1の位置や傾き、3次元形状データに誤差がある場合、対象物体を透視投影変換した2次元画像の正確なものが得られない。この場合、正確なレンズ収差パラメータも得ることができなくなるから、ビデオカメラ1の位置や傾き、3次元形状データは、正確に計測する必要がある。このため、従来においては、ビデオカメラ1の位置や傾き、3次元形状データに誤差が生じないように、精密な装置を用いて、これらの計測を行っている。

【0030】ビデオカメラの位置や傾き、3次元形状データの正確な計測方法については、例えば、上述の文献1や、Roger Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE J. Robotics Automat. Vol. RA-3, No.4, 1987（以下、文献2という）などに記載されている。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】文献1や2に記載されている計測方法によれば、精度の良い値が得られるが、その反面、精密な装置を必要とし、計測が大掛になる。しかしながら、正確なレンズ収差パラメータを、簡単な

システムで、手軽に求めることができれば便利である。

【0032】上述したように、レンズ収差パラメータとしては、歪曲収差と光軸のずれによる収差に関するものが得られれば充分であり、これらのうち、光軸のずれによる収差に関する正確なパラメータを、簡単に求める方法としては、ズーム機能を用いる方法が知られている。

【0033】即ち、この方法は、ズームインしたときの投影像とズームアウトしたときの投影像とにおいて、位置の動かない点（ズームの中心）があり、この点が、光軸の位置に相当するという性質を利用したもので、ズームの中心を検出することにより、容易に、光軸のずれを求めることができる。

【0034】なお、ズームの中心を求める方法に関しては、例えば、堀添毅、林正樹、下田茂、「画像処理による自然画像からのズーム倍率の計測」、電子情報通信学会春季全国大会（1989年）において、ズーム比を変えて撮影した2枚の画像からズーム中心の位置を求めるアルゴリズムが記載されている。

【0035】一方、歪曲収差に関するパラメータについては、現在においても、簡単に求める手法が提案されておらず、従って、上述のように、大掛な計測を行う必要があった。

【0036】本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、歪曲収差に関する正確なパラメータを、容易に（手軽に）求めることができるようにするものである。

【0037】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載のキャリブレーション装置は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出する検出手段と、検出手段により検出された2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求める演算手段とを備えることを特徴とする。

【0038】請求項5に記載のキャリブレーション方法は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求めることを特徴とする。

【0039】請求項6に記載の歪み補正装置は、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正する補正手段を備え、歪曲収差パラメータが、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められたものであることを特徴とする。

【0040】請求項7に記載の歪み補正方法は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であ

って、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正することを特徴とする。

【0041】請求項1に記載のキャリブレーション装置においては、検出手段は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、演算手段は、検出手段により検出された2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求めるようになされている。

【0042】請求項5に記載のキャリブレーション方法においては、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求めるようになされている。

【0043】請求項6に記載の歪み補正装置においては、補正手段が、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正するようになされており、歪曲収差パラメータが、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められたものとなっている。

【0044】請求項7に記載の歪み補正方法においては、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正するようになされている。

【0045】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を説明するが、その前段階の準備として、本発明の原理について説明する。

【0046】前述したように、レンズ収差としては、歪曲収差と光軸のずれによる収差とを考えれば充分であるが、ビデオカメラから得られる2次元画像の歪みには、歪曲収差および光軸のずれによる収差の両方に起因するものが含まれるため、歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを求めるためには、通常、ビデオカメラから得られた2次元画像から、光軸のずれによる収差に起因する歪みを除去（補正）し、その除去後の2次元画像を用いる必要がある。即ち、歪曲収差パラメータの算出にあたっては、光軸のずれによる収差を考慮する必要がある。

【0047】しかしながら、ここでは、光軸のずれによる収差に起因する歪み、即ち、レンズの光軸が、CCDの中心点（受光面の重心）からずれている場合に、CC

D上に投影される像の位置の、理想レンズ（光軸がCCDの中心点を通るレンズ）が形成する像の位置からのずれが、CCDの中心点からの距離の2乗に比例した量で、全画素について同一方向に生じることを利用して、光軸のずれによる収差を無視して（考慮せずに）、歪曲収差パラメータを求めることができるようにしている。

【0048】即ち、図1は、レンズの光軸がCCDの中心点を通る場合と、レンズの光軸がCCDの中心点からずれている場合とにおける結像の様子を示している。

【0049】図1において、理想レンズ（図示せず）の光軸Xは、理想的なCCDの中心点O₀を通過しており、実際のレンズ（図示せず）の光軸X'は、実際のCCDの中心点O₀'から、距離Δだけずれている。そして、実際のCCDは、理想的なCCDに対して、角度θだけ傾いている。

【0050】また、図1では、理想レンズと実際のレンズとの光学中心が、点Oで一致するようになされており、この光学中心Oと理想的なCCDとの間の距離がfとなっている。従って、光学中心Oと実際のCCDとの間の距離もfとなっている。ここでfはレンズの焦点距離である。

【0051】以上のような理想レンズおよび理想的なCCDを組み合わせた理想的な光学系、または実際のレンズおよび実際のCCDを組み合わせた実際の光学系において、対象物体（図1において*印で示す）の像は、光学中心Oおよび対象物体を結ぶ直線と、理想的なCCDまたは実際のCCDとの交点PまたはP'の位置にそれぞれ形成される。この場合において、点Pと理想的なCCDの中心点O₀との距離をrとするとともに、点P'と実際のCCDの中心点O₀'との距離をr'とし、理想的なレンズの光軸Xと、光学中心Oおよび対象物体を結ぶ直線とがなす角度をφとする。

【0052】上述したように、実際のCCDは、理想的なCCDに対して、角度θだけ傾いているので、理想レンズの光軸Xと、実際のレンズの光軸X'とがなす角度もθとなる。従って、次の式（3）および（4）が成立つ。

【0053】

【数3】

$$\tan(\theta + \psi) = \frac{r + \Delta}{f}$$

・・・（3）

【数4】

$$\tan(\theta + \psi) = \frac{\tan\theta + \tan\psi}{1 - \tan\theta \tan\psi} = \frac{\frac{\Delta}{f} + \frac{r}{f}}{1 - \frac{\Delta}{f} \frac{r}{f}}$$

・・・（4）

【0054】式（3）および（4）の右边どうしは等しいことから、次式が成立つ。

【0055】

【数5】

$$r' = (\Delta + r) \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta r}{f^2}} \right) - \Delta$$

$$\approx r + \frac{\Delta}{f^2} r^2 + \frac{\Delta^2}{f^2} r + O\left(\frac{\Delta^2}{f^4} r^3\right)$$

・・・（5）

ここで、関数O（）は、その（）内の項のオーダーを見積もれば充分であることを表す。

【0056】従って、実際の光学系により形成される像の位置の、理想的な光学系により形成される像の位置に対するずれsd（=r' - r）は、式（6）に示すようになる。

【0057】

【数6】

$$sd \approx \frac{\Delta}{f^2} r^2 + \frac{\Delta^2}{f^2} r + O\left(\frac{\Delta^2}{f^4} r^3\right)$$

$$\approx \frac{\Delta}{f^2} r^2$$

・・・（6）

【0058】式（6）から、実際の光学系により形成される像は、r²に比例して、全画素同一方向にずれることが分かる。

【0059】従って、光軸のずれによる収差によれば、図2に示すように、CCDの中心点に対して点対称の位置にある、理想的な光学系による像上の2つの点は、同一方向に同一の大きさだけずれる。

【0060】なお、図2（A）は、CCDの中心点に対して点対称の位置にある、理想的な光学系による像上の2つの点AまたはBが、同一方向に同一の大きさだけずれ、それぞれ、点A'またはB'となっている様子を、図2（B）は、CCDの中心点に対して点対称の位置にある、理想的な光学系による像上の2つの点CまたはDが、同一方向に同一の大きさだけずれ、それぞれ、点C'またはD'となっている様子を示している。

【0061】ここで、例えば、焦点距離（f）が10mm、光軸のずれ（Δ）が0.1mmの時、像のずれsdは、CCDの中心からの距離をrとすると、

【式7】

$$sd \approx \frac{1}{10^3} r^2$$

・・・（7）

となる。

【0062】以上のように、光軸のずれによる収差によれば、CCDの中心点に対して点対称の位置にある、理想的な光学系による像上の2つの点が、同一方向に同一の大きさだけずれることから、CCDの中心点に対応す

る物体上の点に対して点対称の位置にある、その物体上の2つの点のCCD上における像どうしの間の距離は、光軸のずれによる収差があってもなくても変化しない。

【0063】従って、実際の光学系において、実際のCCD上に形成される物体の像上の、そのような2つの点（以下、適宜、第1、第2の等距離点という）どうしの距離を用いるのであれば、光軸のずれによる収差を考慮することなく、即ち、光軸の正確な位置を求めることなく、歪曲収差を計測することができることになる。

【0064】そこで、いま、例えば、図3に示すように、ビデオカメラ1によって、水平に置いたものさし2を撮影し、第1と第2の等距離点を得て、それらの間の距離から、ビデオカメラ1についての歪曲収差パラメータを求めることを考える。なお、ものさし2は、ビデオカメラ1のCCD全体に映る程度の長さがあれば良い。

【0065】まず、ビデオカメラ1またはものさし2のうちのいずれか一方を固定する。ここでは、例えば、ものさし2を固定するものとする。そして、ビデオカメラ1を、次のように設置する。即ち、ビデオカメラ1の設置は、図4に示すように、ビデオカメラ1のCCD11に、ものさし2が全体的に、かつ水平に映り、ビデオカメラ1のレンズの光軸X'がものさし2に対して垂直になるように行う。さらに、ものさし2の中心点（左右を2分する点）が、ビデオカメラ1のCCDの中心点に一致するようにする（ほぼ一致していれば良い）。

【0066】なお、図4においては、ものさし2の長さをLで、ビデオカメラ1のレンズの光学中心Oからものさし2までの距離をzで、CCD11上に形成されたものさし2の像の長さ（水平方向の長さ）をmで、それぞれ表している。

【0067】ところで、光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になるように、ビデオカメラ1を設置するのは困難であり、通常は、微小な角度だけずれる。そこで、図4では、そのようなずれに対応するものとして、光軸X'がものさし2に対して正確に垂直である場合に、光学中心Oが位置すべき点から、実際に光学中心Oが位置している点までの距離を考え、その距離をeで表している。

【0068】ここで、eが0でなくても、即ち、光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になっていなくても、所定の条件が満たされる場合には、正確な歪曲収差パラメータの算出に支障はないが、このことについては後述する。

【0069】図5は、以上のようにビデオカメラ1を設置してものさし2を撮影した場合の、CCD11上に形成されるものさし2の像を示している。

【0070】同図においては、ものさし2に、等間隔で9個の目盛りが付されており、従って、この目盛りを利用して第1および第2の等距離点を得るとすれば、第1および第2の等距離点の組を、4サンプル得ることがで

きる。なお、より多くのサンプルを得るには、そのサンプル数に対応した数の目盛りを有するものさしを用いる必要がある。

【0071】次に、図5に示したように、CCD11上にもものさし2の像が形成された状態で、ものさし2の中心点（ここでは、ものさし2を2分する位置にある目盛り）から左右に等距離にある2つの目盛りの像の位置を、第1および第2の等距離点として計測する場合において、CCD11における最小単位は画素であるから、目盛りの像が形成されている画素の位置を計測したのでは、画素より細かい精度で、目盛りの像の位置を得ることができなくなる。そこで、ここでは、例えば、図6に示すようにして、画素より細かい精度で、目盛りの像の位置を求めることとする。

【0072】即ち、図6（A）は、ものさし2の像が、CCD11上に形成されている様子を示しており、図6（B）は、その目盛り付近の像を拡大したものを示している。なお、図6（B）に示した格子は画素を表しており、その格子上の濃淡は、画素の輝度の高低を表している。

【0073】いま、ものさし2の目盛り付近の像が形成されている画素列の輝度レベルについて、図6（C）に示すように、ヒストグラムを作成する。そして、このヒストグラムから、極大値または極小値（以下、両方含めてピーク値という）を、例えば、線形補間などの補間計算により求める。ものさし2において、目盛りの部分は、他の部分とは輝度が異なるから、ピーク値に対応する位置は、目盛りの像の位置ということになり、この場合、画素より細かい精度で、目盛りの像の位置を求めることができる。

【0074】以上のようにして、目盛りの像の位置、即ち、第1および第2の等距離点の位置を求めた後は、その間の距離を求める。

【0075】ここで、図4と同様の図7に示すように、光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になっておらず、従って、光軸X'がものさし2に対して正確に垂直である場合に光学中心Oが位置すべき点と、実際に光学中心Oが位置している点との間の距離eが0でない場合において、CCD11の中心点O₀'に、長さがLのものさし2を長さL₁とL₂とに2分する点L'の像が形成されており（但し、ここでは、点L'は、ものさし2の中心点にほぼ一致する）、その中心点O₀'から左または右にrだけ離れた位置に、ものさし2上の点L'からL₂またはL₁だけ離れた点AまたはBの像が形成されているとする。

【0076】なお、図7において、φは、光学中心Oとものさし2の点L'からL₁だけ離れた点Bとを結んだ直線と、光軸X'とがなす角度を、θは、光学中心Oとものさし2の点L'からL₂だけ離れた点Aとを結んだ直線と、光軸X'とがなす角度を、φは、光学中心Oから

らものさし2に垂らした垂線と、光軸X' とのなす角度を、それぞれ表している。また、CCD11から光学中心Oまでの距離（即ち、焦点距離）をfとする。

【0077】この場合、角度 θ 、 ϕ 、 ϕ それぞれについて、次式が成立する。

【0078】

【数8】

$$\tan \theta = \frac{r}{f}, \tan \psi = \frac{r}{f}, \tan \phi = \frac{e}{z}$$

・・・ (8)

【0079】式(8)から、式(9)および(10)が成立する。

【0080】

【数9】

$$\tan(\psi + \phi) = \frac{L_1 + e}{z}$$

・・・ (9)

【数10】

$$\tan(\psi + \phi) = \frac{\tan \psi + \tan \phi}{1 - \tan \psi \tan \phi} = \frac{\frac{r}{f} + \frac{e}{z}}{1 - \frac{r}{f} \frac{e}{z}}$$

・・・ (10)

【0081】式(9)および(10)から、 L_1 は、次式で表せる。

【0082】

【数11】

$$L_1 = \frac{r(z^2 + e^2)}{fz - re}$$

・・・ (11)

【0083】一方、式(8)から、式(12)および(13)も成立する。

【0084】

【数12】

$$\tan(\theta - \phi) = \frac{L_2 - e}{z}$$

・・・ (12)

【数13】

$$\tan(\theta - \phi) = \frac{\tan \theta - \tan \phi}{1 + \tan \theta \tan \phi} = \frac{\frac{r}{f} - \frac{e}{z}}{1 + \frac{r}{f} \frac{e}{z}}$$

・・・ (13)

【0085】式(12)および(13)から、 L_2 は、次式で表せる。

【0086】

【数14】

$$L_2 = \frac{r(z^2 + e^2)}{fz + re}$$

・・・ (14)

【0087】式(11)および(14)から、CCD11上において、その中心点O'から左右にそれぞれrだけ離れた範囲に像が形成されているものさし2の長さL(=L₁+L₂)は、次式で表される。

【0088】

【数15】

$$L = \frac{r(z^2 + e^2)}{fz - re} + \frac{r(z^2 + e^2)}{fz + re} = \frac{2r(z^2 + e^2)fz}{f^2z^2 - r^2e^2}$$

・・・ (15)

10 【0089】従って、|e|がzと比較してある程度小さい場合には、e=0としても、即ち、光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になっていると考えても問題はない。

【0090】具体的には、例えば、f=10[mm]、z=5[m]、r=1[mm]として、e=0の場合とe=5[cm]の場合とで、CCD11に形成された像から、式(15)にしたがって、ものさし2の長さLを求めたときの両者の差は、約0.1[mm]となる。e=0の場合におけるものさし2の長さLは1[m]であるから、e=5[cm]の場合におけるものさし2の長さLの誤差は、約0.01%となる。この誤差は、幅が5[μm]の画素を有する、幅が2[mm]のCCD上における約1/20画素分に相当し、非常に小さい。従って、光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になっていなくても、|e|/zがそれほど大きくなければ（ここでは、|e|/z=0.01）、光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になっていると考えることができる（eを0として計算を行っても、また、eを正確に計測して計算しても、その計算結果にほとんど差は生じない）。

30 【0091】そこで、精密な装置を用いなくても、人間が目視で、光軸X'がものさし2に対して垂直になるように、ビデオカメラ1とものさし2とを設置すれば、|e|は、比較的小さな値になると考えられるので、zをある程度大きくすることにより、|e|<<zとし、以下では、e=0と考える。

【0092】e=0と考えると、ビデオカメラ1とものさし2との位置関係を、図4で説明したようにして、ものさし2を撮影した場合、その中心点から左右にL/2だけ離れた点の、CCD11上に形成される像どうしの距離、つまり第1と第2の等距離点どうしの距離L_eは、歪曲収差がなければ、Lの所定数倍となる。即ち、所定の定数をhとすると、式L_e=h×Lが成り立つ。

40 【0093】従って、前述の式(2)に示した歪曲収差を考慮すると、ものさし2の中心点から左右にL/2だけ離れた点の、CCD11上に形成される像どうしの距離は、理論的には、L_e+k×L_e³=h×L+k×(h×L)³となる。

50 【0094】一方、図4で説明したようにして、ものさ

し2を実際に撮影した場合に、上述したように、第1と第2の等距離点どうしの距離については、光軸のずれによる収差を考慮する必要がないので、この実際に撮影して計測された第1と第2の等距離点どうしの距離と、上述の理論値 $(h \times L + k \times (h \times L)^3)$ とは一致するはずである。従って、実際に計測された第1と第2の等距離点どうしの距離を m と表すと、式 $m = h \times L + k \times (h \times L)^3$ を満足する h と k を求めれば、その k が、求めるべき歪曲収差パラメータということになる。

【0095】図8は、以上のようにしてビデオカメラ1の歪曲収差パラメータを求めるキャリブレーションシステムの一実施の形態の構成例を示している。

【0096】ビデオカメラ1とものさし2とは、図4で説明したような位置関係に配置されており、ビデオカメラ1は、ものさし2を撮影するようになっている。

【0097】即ち、ものさし2からの光は、レンズ12（集光手段）でCCD11（光電変換手段）上に集光され、CCD11では、レンズ12からの光が光電変換されることにより画像信号とされ、ビデオカメラ1が内蔵する図示せぬ回路で必要な信号処理が施された後、サンプル点抽出部13（検出手段）に供給されるようになされている。サンプル点抽出部13は、ビデオカメラ1からの画像信号から、第1および第2の等距離点の位置の組を、図6で説明したようにしてN組検出（抽出）し、さらに、そのN組それぞれの第1および第2の等距離点どうしの距離 m_1, m_2, \dots, m_N を求めて、演算部14に供給するようになされている。演算部14（演算手段）には、サンプル点抽出部13からN組の第1および第2の等距離点どうしの距離 m_1, m_2, \dots, m_N の他、そのN組の第1および第2の等距離点に対応する、ものさし2上の点どうしの実際の距離 L_1, L_2, \dots, L_N が供給されるようになされており、そこでは、これらを用いて所定の演算が行われることにより、歪曲収差パラメータ k が求められるようになされている。メモリ15は、演算部14において求められた歪曲収差パラメータ k を記憶するようになされている。

【0098】次に、図8のキャリブレーションシステムにおいて、上述の原理に基づき、ビデオカメラ1の、正確な歪曲収差パラメータ k を求める方法について、図9のフローチャートを参照して説明する。

【0099】まず最初に、ステップS1において、ビデオカメラ1とものさし2とを、図4に示した位置関係となるように設置する。そして、ものさし2を、ビデオカメラ1で撮影し、これにより、ものさし2の画像信号を、サンプル点抽出部13に供給させる。

【0100】サンプル点抽出部13は、ビデオカメラ1から画像信号を受信すると、ステップS2において、第1および第2の等距離点である、ものさし2の目盛りの位置をN組検出し、そのN組それぞれの第1および第2の等距離点どうしの距離 m_1, m_2, \dots, m_N を求め

る。この距離 m_1, m_2, \dots, m_N は、演算部14に供給される。

【0101】演算部14には、サンプル点抽出部13で検出されるN組の第1および第2の等距離点に対応する、ものさし2上の点どうしの実際の距離 L_1, L_2, \dots, L_N があらかじめ入力されており、演算部14は、サンプル点抽出部13から距離 m_1, m_2, \dots, m_N を受信すると、ステップS3において、例えば、最小自乗法などによって、歪曲収差パラメータ k を求める。

【0102】即ち、ステップS3では、 m_i ($i=1, 2, \dots, N$) と $h \times L_i + k \times (h \times L_i)^3$ との間の2乗誤差の総和、つまり、次式を最小にする歪曲収差パラメータ k が求められる。

【0103】

【数16】

$$\sum_{i=1}^N (hL_i + kh^3L_i^3 - m_i)^2$$

$\dots (16)$

【0104】演算部14は、歪曲収差パラメータ k を求めると、ステップS4に進み、その歪曲収差パラメータ k を、メモリ15に出力して記憶させ、処理を終了する。

【0105】以上のように、第1および第2の等距離点どうしの距離を用いるようにしたので、光軸のずれによる歪みを考慮せずに、歪曲収差パラメータを求めることが可能となる。

【0106】さらに、ビデオカメラ1とものさし2とを設置するにあたり、その位置関係については、それほど厳密性が要求されないので、即ち、例えば、上述したように、ビデオカメラ1のレンズ12の光軸と、ものさし2とは正確に垂直になっても良いので、従来のように、精密な装置を使って大掛な計測を行わずに、正確な歪曲収差パラメータを、容易に（手軽に）求めることができる。

【0107】次に、図10は、以上のようにして求めた歪曲収差パラメータを用いて、歪曲収差を補正する歪み補正システムの一実施の形態の構成例を示している。

【0108】ビデオカメラ1による撮影で得られた画像信号は、歪み補正部22（補正手段）に出力される。歪み補正部22では、ビデオカメラ1からの画像信号の歪みが補正される。即ち、メモリ21には、図8の演算部14で求められメモリ15に記憶された歪曲収差パラメータが記憶されており、歪み補正部22は、このメモリ21に記憶されている歪曲収差パラメータを用いて、ビデオカメラ22からの画像信号を補正し、これにより、その画像信号が有する、レンズ12の歪曲収差に起因する歪みを除去して出力する。

【0109】従って、歪み補正部22からは、歪曲収差

による歪みが除去された 2 次元画像が得られる。

【0110】ところで、歪曲収差パラメータの算出にあたっては、ビデオカメラ 1 のレンズ 12 の光軸が、ものさし 2 に対して、正確に垂直となっていないとしても、図 7 で説明したように、 $|e| < z$ であれば、ほとんど誤差のない歪曲収差パラメータを求めることができるが、 e が 0 に近ければ近いほど、より正確な歪曲収差パラメータを求めることができる。

【0111】従って、ビデオカメラ 1 とものさし 2 とは、 e が、より 0 に近くなるように設置すべきであるが、これは、精密な装置によらずとも、例えば、次のようにして、容易に実現することができる。

【0112】即ち、CCD 11 上に形成されたものさし 2 の像の左右の長さ x とすると、ものさし 2 の長さ L は、式 (15) と同様の次式で表すことができる。

【0113】

【数 17】

$$L = \frac{x(z^2 + e^2) f z}{f^2 z^2 - 4 x^2 e^2}$$

・・・ (17)

【0114】式 (17) より、 L は、 $|e|$ に関する増加関数となっているから、 $|e|$ が大きいほど、CCD 11 上に、その全体の像を形成することのできるものさし 2 の長さ L は長くなる。即ち、CCD 11 に、その全体の像を形成することのできるものさし 2 の長さ L は、ビデオカメラ 1 のレンズ 12 の光軸が、ものさし 2 に対して垂直方向から傾くほど長くなり、従って、CCD 11 に形成された像から求めたものさし 2 の長さ L が最も小さいときが、レンズ 12 の光軸が、ものさし 2 に対して、正確に垂直になっていることになる。

【0115】これは、逆に言えば、CCD 11 に形成されたものさし 2 の像の左右の長さ x が最も長いときが、レンズ 12 の光軸が、ものさし 2 に対して、正確に垂直になっているということに等しい。従って、ビデオカメラ 1 でものさし 2 を撮影した場合に、図 11 (A) に示すように、ものさし 2 の像の左右の長さ x が長いときには、レンズ 12 の光軸が、ものさし 2 に対して、比較的正確に垂直になっており、図 11 (B) に示すように、ものさし 2 の像の左右の長さ x が短いときには、レンズ 12 の光軸が、ものさし 2 に対して、あまり正確に垂直になっていないということになる。

【0116】そこで、歪曲収差パラメータの算出にあたっては、ビデオカメラ 1 によって、幾つかの角度の異なった方向からものさし 2 を撮影し、ものさし 2 の像が最も長く形成された角度の方向から得られた画像を用いるようにするのが好ましい。

【0117】幾つかの角度の異なった方向からのものさし 2 の撮影は、例えば、図 12 に示すようにして行うことができる。

【0118】即ち、例えば、図 12 (A) に示すように、ビデオカメラ 1 を固定し、ものさし 2 を回転台に載せて、その回転台を徐々に回転させながら、ものさし 2 を撮影すれば良い。また、例えば、図 12 (B) に示すように、ものさし 2 を固定し、ビデオカメラ 1 を回転台に載せて、その回転台を徐々に回転させながら、ものさし 2 を撮影しても良い。さらに、例えば、図 12 (C) に示すように、ものさし 2 を固定し、測定者が、ビデオカメラ 1 を少しずつパンまたはチルトさせながら、物差し 2 を撮影することなども考えられる。

【0119】なお、図 12 (A) や図 12 (B) における場合には、装置規模は多少大型化することとなるが、ビデオカメラ 1 が出力するものさし 2 の画像の長さを検出するようにし、その検出結果に対応して、回転台の回転角を、モータなどで制御するようにすることも可能である。

【0120】以上、本発明を、動画を撮るためのビデオカメラについての歪曲収差パラメータの算出に適用した場合について説明したが、本発明は、その他、静止画を撮るためのカメラについての歪曲収差パラメータの算出にも適用可能である。

【0121】なお、本実施の形態では、ものさしを撮影して、歪曲収差パラメータを求めるようにしたが、歪曲収差パラメータは、ものさし以外の物体を撮影することによっても求めることが可能である。但し、その物体は、ある点に対して、点対称の位置にある 2 点間の距離が容易に計測することができるものであることが望ましい。

【0122】さらに、本実施の形態では、水平に置いたものさし 2 を撮影し、その中心点から、左右に等距離にある点 (メモリ) の像を、第 1 および第 2 の等距離点としたが、水平に置かれていない状態のものさし 2 を撮影しても良く、また、左右に等距離にある点以外の像を、第 1 および第 2 の等距離点としても良い。即ち、ものさし 2 は、少なくとも、光軸に対してほぼ垂直に、かつ、CCD 11 上の中心点から点対称な位置付近に、ものさし 2 の像が形成されるように撮影すれば良く、この場合、CCD 11 上の中心点付近に像が形成されているものさし 2 上の点に対して点対称な位置の 2 つの点の像を、第 1 および第 2 の等距離点とすることができる。

【0123】また、本実施の形態では、レンズについての歪曲収差パラメータを求めるようにしたが、その他、例えば、凹面鏡などについての歪曲収差パラメータを求めることも可能である。

【0124】さらに、本実施の形態では、光電変換素子として、CCD を用いるようにしたが、CCD 以外の光電変換素子を用いることも可能である。

【0125】

【発明の効果】請求項 1 に記載のキャリブレーション装置および請求項 5 に記載のキャリブレーション方法によ

れば、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点が検出され、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータが求められる。従って、正確な歪曲収差パラメータを、容易に求めることが可能となる。

【0126】請求項6に記載の歪み補正装置および請求項7に記載の歪み補正方法によれば、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みが補正される。従って、歪曲収差に起因する歪みを補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】レンズの光軸がCCDの中心点を通る場合と、レンズの光軸がCCDの中心点からずれている場合とにおける結像の様子を示す図である。

【図2】光軸のずれによる収差による、CCDの中心点に対して点対称の位置にある、理想的な光学系による像上の2つの点のずれを示す図である。

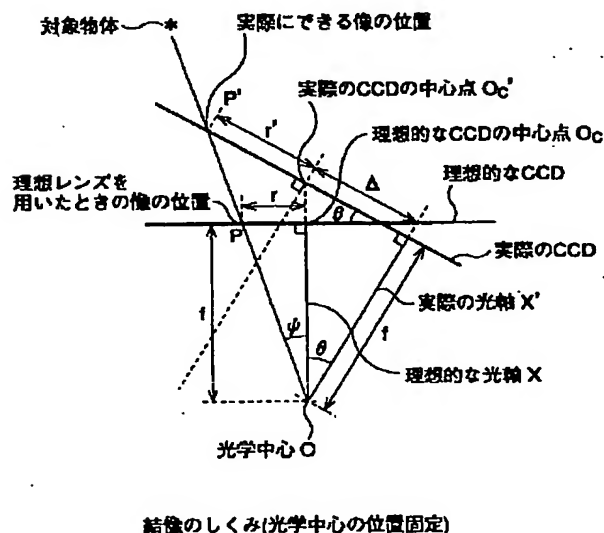
【図3】ビデオカメラ1によるものさし2の撮影の様子を示す図である。

【図4】ビデオカメラ1によるものさし2の撮影の様子を模式的に表した図である。

【図5】CCD11上に形成されたものさし2の像を示す図である。

【図6】画素より細かい精度で、目盛りの像の位置を求める方法を説明するための図である。

【図1】



結像のしくみ(光学中心の位置固定)

【図7】光軸X'がものさし2に対して、正確に垂直になっていない場合に生じる誤差を説明するための図である。

【図8】本発明を適用したキャリブレーションシステムの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図9】図8のキャリブレーションシステムによるキャリブレーションの方法を説明するためのフローチャートである。

【図10】歪曲収差による歪みを補正する歪み補正システムの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図11】ものさし2に対して垂直方向からの光軸の傾きと、CCD11に形成されるものさし2の像との関係を示す図である。

【図12】角度の異なる方向からのものさし2の撮影方法を説明するための図である。

【図13】ビデオカメラの結像モデルを示す図である。

【図14】対象物体を投影して得られる2次元画像から、その対象物体の3次元形状データを求める方法を説明するための図である。

【図15】歪曲収差により歪んだ2次元画像を示す図である。

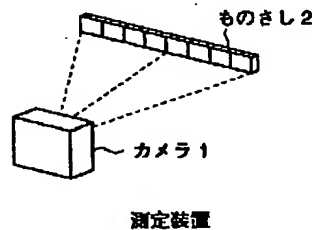
【図16】理想レンズによる結像の様子と、光軸のずれによる収差を有する、実際のレンズによる結像の様子とを示す図である。

【図17】従来のキャリブレーションシステムの一例の構成を示すブロック図である。

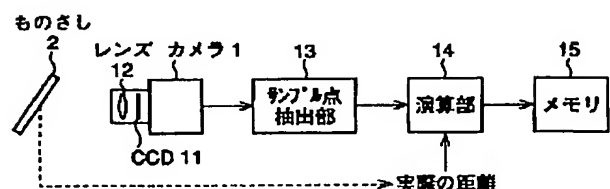
【符号の説明】

1 ビデオカメラ, 11 CCD, 12 レンズ,
13 サンプル点抽出部, 14 演算部, 15,
21 メモリ, 22 歪み補正部

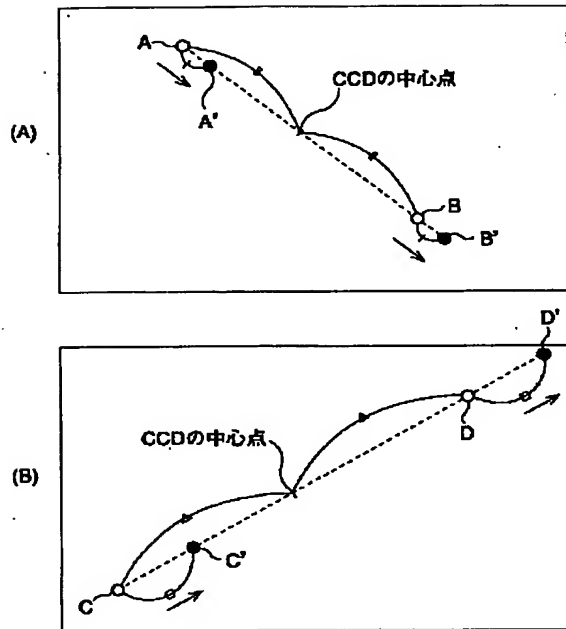
【図3】



【図8】

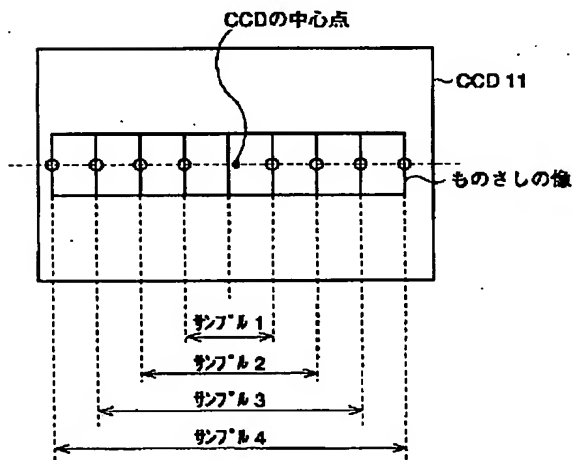


【図2】



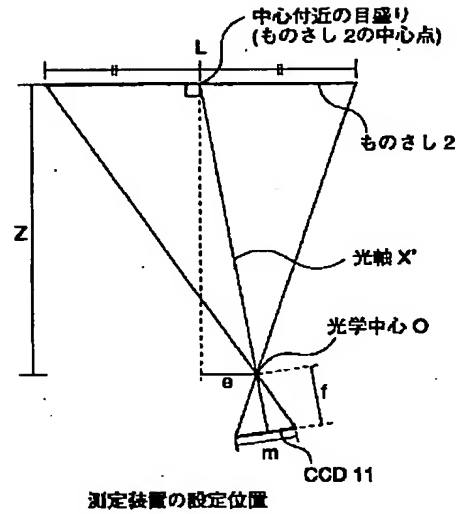
光軸がずれたレンズがつくる像の実例

【図5】

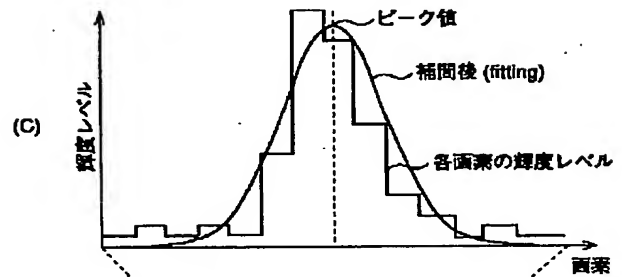


CCDに映ったものさし

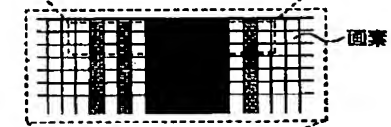
【図4】



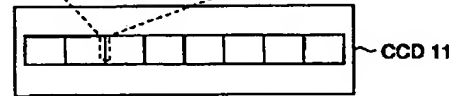
【図6】



(B)

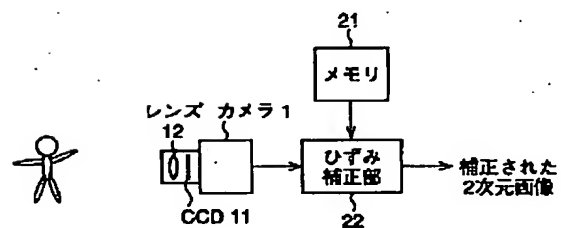


(A)

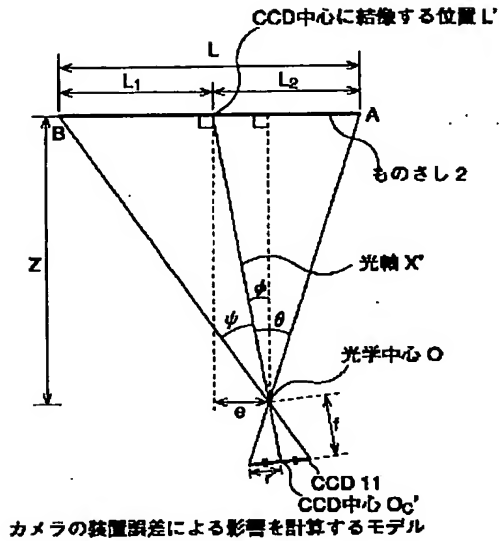


目盛りに対応する画素位置を求める

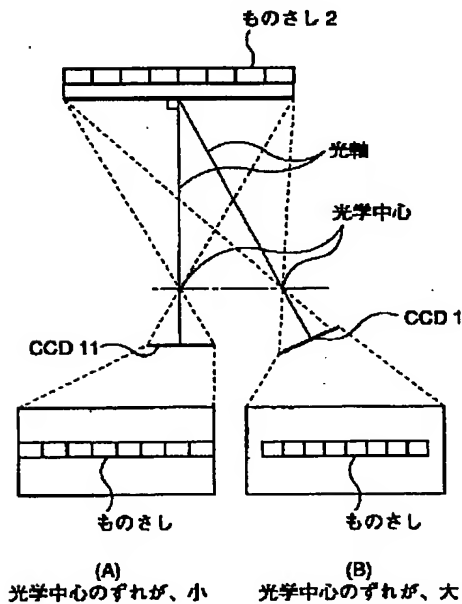
【図10】



【図7】

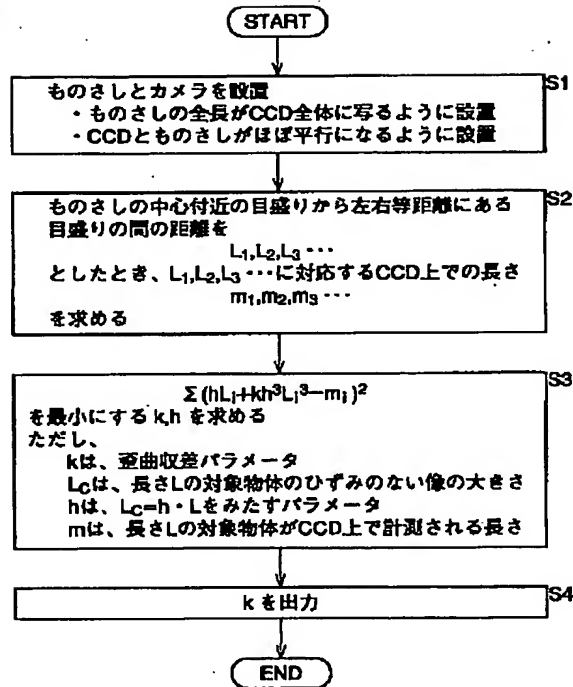


【図11】



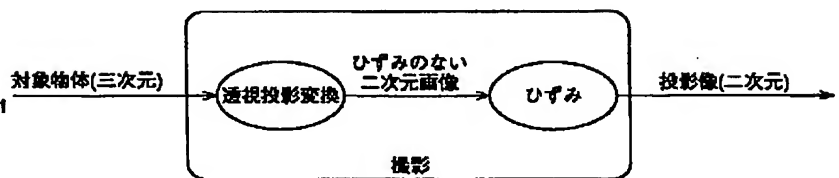
異なる角度からの撮影

【図9】



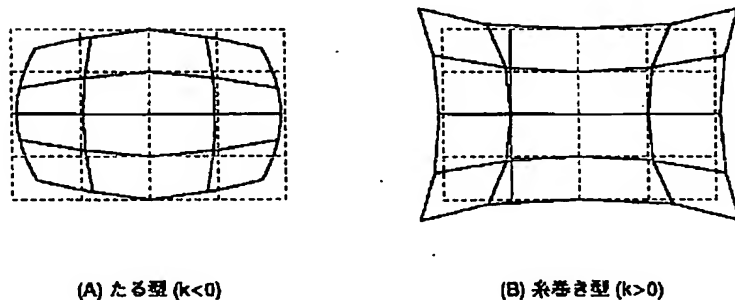
処理の手順

【図13】



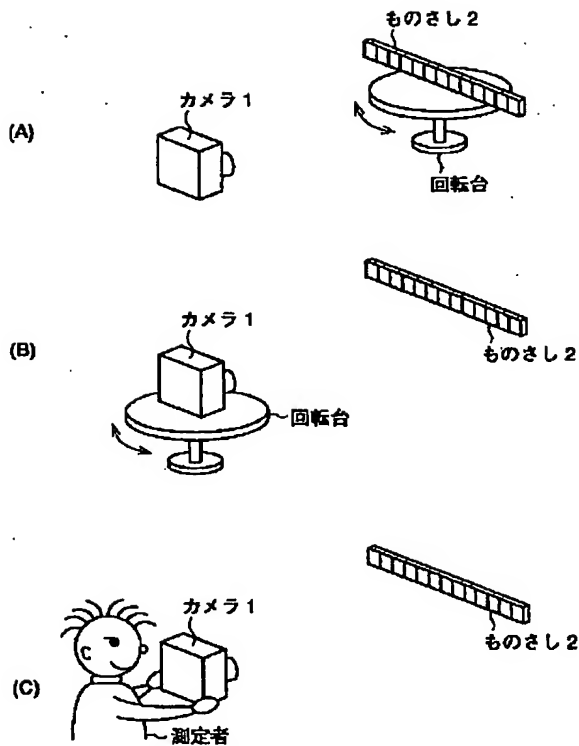
カメラの結像モデル

【図15】



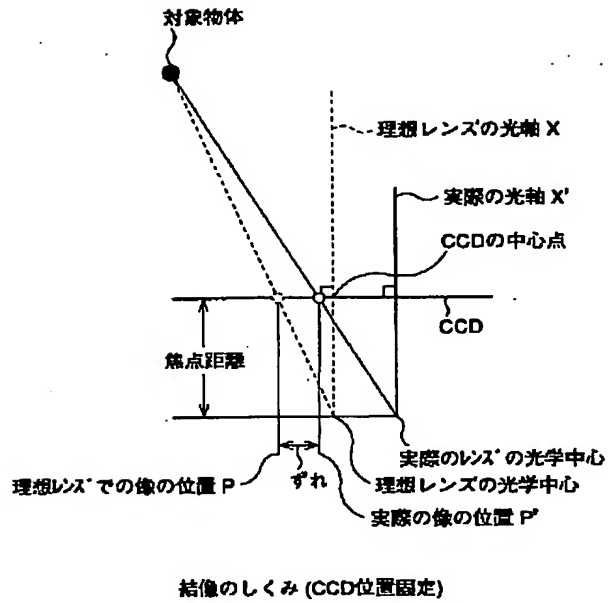
歪曲収差の実例

【図12】

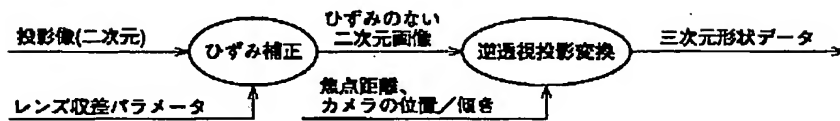


異なる角度から撮影する装置の例

【図16】

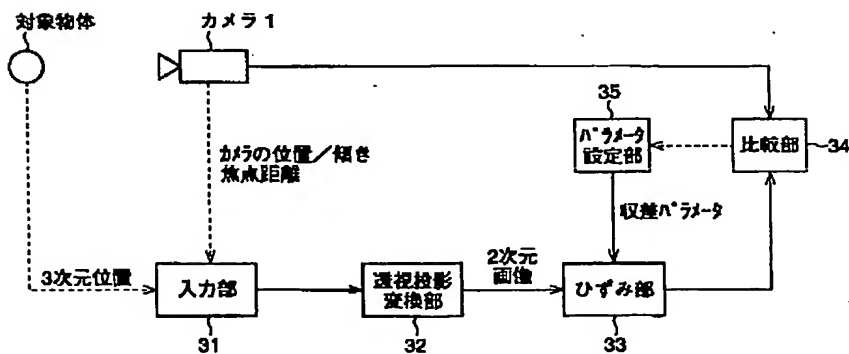


【図14】



対象物体の三次元形状データを取得する流れ

【図17】



【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 6 部門第 1 区分
 【発行日】平成 15 年 1 月 15 日 (2003. 1. 15)

【公開番号】特開平 10-253499
 【公開日】平成 10 年 9 月 25 日 (1998. 9. 25)
 【年通号数】公開特許公報 10-2535
 【出願番号】特願平 9-55865
 【国際特許分類第 7 版】
 G01M 11/02
 【F I】
 G01M 11/02 B

【手続補正書】
 【提出日】平成 14 年 10 月 9 日 (2002. 10. 9)

【手続補正 1】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】特許請求の範囲
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する 2 次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを求めるキャリブレーション装置であって、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある 2 つの点を検出する検出手段と、前記検出手段により検出された 2 つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、前記歪曲収差パラメータを求める演算手段とを備えることを特徴とするキャリブレーション装置。

【請求項 2】 前記検出手段は、前記光電変換手段の受光面の中心点に対応する前記物体上の点に対して点対称な位置にある、前記物体の像における 2 つの点を検出することを特徴とする請求項 1 に記載のキャリブレーション装置。

【請求項 3】 前記検出手段は、前記物体の像が左右に最も長くなるように撮像がなされている場合における前記 2 つの点を検出することを特徴とする請求項 1 に記載のキャリブレーション装置。

【請求項 4】 前記検出手段により検出された 2 つの点の間の距離を m と、その 2 つの点の前記物体上での距離を L と、前記歪曲収差パラメータを k と、所定の定数を h と、それぞれするとき、

前記演算手段は、式 $m = h \times L + k \times h^3 \times L^3$ を満たすような前記歪曲収差パラメータ k を求めることを特徴とする請求項 1 に記載のキャリブレーション装置。

【請求項 5】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する 2 次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを求めるキャリブレーション方法であって、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある 2 つの点を検出する検出ステップと、その 2 つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、前記歪曲収差パラメータを求める演算ステップとを備えることを特徴とするキャリブレーション方法。

【請求項 6】 前記検出ステップにおいて、前記光電変換手段の受光面の中心点に対応する前記物体上の点に対して点対称な位置にある、前記物体の像における 2 つの点を検出することを特徴とする請求項 5 に記載のキャリブレーション方法。

【請求項 7】 前記検出ステップにおいて、前記物体の像が左右に最も長くなるように撮像がなされている場合における前記 2 つの点を検出することを特徴とする請求項 5 に記載のキャリブレーション方法。

【請求項 8】 前記検出ステップにおいて検出された 2 つの点の間の距離を m と、その 2 つの点の前記物体上での距離を L と、前記歪曲収差パラメータを k と、所定の定数を h と、それぞれするとき、前記演算ステップにおいて、式 $m = h \times L + k \times h^3 \times L^3$ を満たすような前記歪曲収差パラメータ k を求めることを特徴とする請求項 5 に記載のキャリブレーション方法。

【請求項9】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する2次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差による前記2次元画像の歪みを補正する歪み補正装置であって、前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、前記2次元画像の歪みを補正する補正手段を備え、前記歪曲収差パラメータは、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められたものであることを特徴とする歪み補正装置。

【請求項10】 物体からの光を集光する集光手段と、前記集光手段により集光された光を光電変換し、前記物体に対応する2次元画像を出力する光電変換手段とを有する撮像装置における前記集光手段の歪曲収差による前記2次元画像の歪みを補正する歪み補正方法であって、前記光電変換手段の受光面上に形成される前記物体の像における点であって、前記物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、前記集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、前記2次元画像の歪みを補正することを特徴とする歪み補正方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正内容】

【0037】

【課題を解決するための手段】本発明のキャリブレーション装置は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出する検出手段と、検出手段により検出された2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求める演算手段とを備えることを特徴とする。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】本発明のキャリブレーション方法は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求めることを特徴とする。

あって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出する検出ステップと、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求める演算ステップとを備えることを特徴とする。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】本発明の歪み補正装置は、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正する補正手段を備え、歪曲収差パラメータが、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められたものであることを特徴とする。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】本発明の歪み補正方法は、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正することを特徴とする。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】本発明のキャリブレーション装置およびキャリブレーション方法においては、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータを求める。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】削除

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正内容】

【0043】本発明の歪み補正装置および歪み補正方法においては、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みを補正する。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】削除

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0125

【補正方法】変更

【補正内容】

【0125】

【発明の効果】本発明のキャリブレーション装置およびキャリブレーション方法によれば、光電変換手段の受光

面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出され、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより、歪曲収差パラメータが求められる。従って、正確な歪曲収差パラメータを、容易に求めることが可能となる。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0126

【補正方法】変更

【補正内容】

【0126】本発明の歪み補正装置および歪み補正方法によれば、光電変換手段の受光面上に形成される物体の像における点であって、物体の所定の点に対して点対称な位置にある2つの点を検出し、その2つの点の間の距離を用いて、所定の演算を行うことにより求められた、集光手段の歪曲収差に関する歪曲収差パラメータを用いて、2次元画像の歪みが補正される。従って、歪曲収差に起因する歪みを補正することができる。

H10-253499

Paragraphs [0013] and [0014]

[0013] The radial distortion of the lens is the largest aberration among lens aberrations. This is caused by lens distortion. In general, lenses having a shorter focal length, that is, a wider angle, cause larger radial distortion. The radial distortion is isotropic in the radial direction from the optical axis. When the distance in the radial direction from the optical axis is determined as "r," the difference "rd" between the image formed by the ideal lens and the image formed by the actual lens (a lens having radial distortion) is approximated by the following equation:

[0014]

[Expression 1]

$$rd = k_3 \times r^3 + k_5 \times r^5 + k_7 \times r^7 + \dots$$

... (1)

where k_3 , k_5 , k_7 ... are parameters on radial distortion (radial distortion parameters).